



*На правах рукописи*

ВОЙТКО АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ

**МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ПУТИ СНИЖЕНИЯ  
НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДСКОЙ  
ДОРОЖНОЙ СРЕДЫ НА ПОДВИЖНОСТЬ  
АВТОСАНИТАРНОГО ТРАНСПОРТА**

Специальность: 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

- Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Добромиров Виктор Николаевич**
- Официальные оппоненты:** **Молев Юрий Игоревич**  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
технический университет им. Р. Е. Алексеева»,  
кафедра «Строительные и дорожные машины»,  
профессор;  
**Прядкин Владимир Ильич**  
доктор технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный  
лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова»,  
кафедра автомобилей и сервиса, заведующий;
- Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Рязанский государственный  
агротехнологический университет имени  
П. А. Костычева».

Защита диссертации состоится «11» ноября 2021 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.223.02 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» СПбГАСУ по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №220).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на официальном сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/voytko-aleksandr-mihaylovich>.

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации) просим направлять по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория №219).

Автореферат разослан «05» октября 2021 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
Д212.223.02  
кандидат технических наук,  
доцент



Олещенко Елена Михайловна

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В современном обществе любое оказание услуг в сфере транспорта оценивается своевременностью, безопасностью и качеством их реализации. Это в полной мере относится и к автотранспортному обеспечению системы оказания скорой медицинской помощи. Существует медицинское понятие «золотого часа», подразумевающее время, в течение которого состояние человека, попавшего в критическое положение, балансирует на грани жизни и смерти. Если в течение этого времени ему оказать полноценную помощь, то вероятность выживания достигает 90%. К сожалению, эти возможности часто ограничиваются несвоевременным прибытием машин скорой помощи и доставкой пострадавших до медицинского учреждения. Особенно неблагоприятная обстановка с такой ситуацией складывается в крупных городах, где скорость доставки, комфортность и безопасность транспортирования пострадавших зависит не только от конструктивных особенностей автомобиля скорой помощи, но и от состояния дорожной среды на маршруте движения, оказывающей негативное воздействие на подвижность автосанитарного транспорта.

Под подвижностью понимается интегральное эксплуатационное свойство транспортной машины, определяющее ее способность выполнять поставленные задачи с оптимальной адаптивностью к условиям эксплуатации и состоянию самой машины.

Способность автосанитарного транспорта выполнять поставленные задачи определяется скоростью и комфортностью доставки больных в лечебное учреждение. Оба эти фактора при движении в городской среде имеют равное влияние на общую эффективность оказания медицинской услуги. Условия эксплуатации, определяемые состоянием городской дорожной среды, являются независимым фактором влияния на подвижность автосанитарного транспорта. Техническое состояние машины, как правило, соответствует высокому уровню требований к нему, определяемому важностью решения функциональных задач. Однако, конструктивное исполнение машин скорой помощи, создаваемых, как правило, с использованием серийных автомобильных базовых шасси из состава категорий М1 или N1, не всегда обеспечивает их адаптивность к городской дорожной среде. Это касается в первую очередь требуемого уровня комфорта транспортирования пострадавших при высоких скоростях движения по маршрутам, имеющим на проезжей части специфические искусственные препятствия в виде циркульных и трапециевидных неровностей, шумовых полос, трамвайных рельсов, стыков разводных мостов, ремонтируемых участков дорожного покрытия и т. п. Помимо тряски и толчков импульсов дискомфорт вызывает поперечные

и продольные крены кузова при частых крутых поворотах на перекрестках и интенсивных разгонах и торможениях на прямолинейных участках пути.

Таким образом, необходимо с одной стороны реализовать высокую скорость движения автосанитарной машины при доставке пациента до медицинского учреждения, с другой стороны - обеспечить комфортную среду его пребывания в карете скорой помощи. Устранение этого противоречия требует научного обоснования путей снижения негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного средства за счет повышения эффективности гашения колебательных процессов в его подвеске, что является актуальной задачей.

### **Степень разработанности темы исследования.**

Основами вибронегативности и колебательных процессов в теории движения автомобиля занимались такие отечественные и зарубежные исследователи, как: Чудаков Е. А., Зимелев Г. В., Яценко Н. Н., Успенский И. Н., Говорущенко Н. Я., Литвинова А. С., Фаробина Я. Е., Смирнова Г. А., Федотов А. И., Доморозов А. Н., Нгуен Ван Ньань, Слепенко Е. А., Желтышев А. В., Першин С. А., Фалькевич Б. С., Ротенберг Р. В., Дербаремдикера А. Д., Bauer W., Dixon J. C., Blundell M., Carbon. C., Marquard E., Apetaur M. и другие.

Анализ выявленных источников показал, что оценка и пути снижения негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта, не изучена.

**Рабочая гипотеза.** Подвижность автосанитарных транспортных средств, ограничиваемая допустимыми санитарно-гигиеническими нормами воздействия внешней среды на человека, может быть повышена за счет их адаптации к преодолению искусственных препятствий на маршрутах передвижения в городской дорожно-транспортной среде путем эксплуатационной модернизации подвески.

**Цель работы** заключается в разработке методики оценки негативного воздействия городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта и обоснование рекомендаций по его снижению путем эксплуатационной модернизации подвески.

### **Задачи исследования.**

1. Обосновать значимые факторы, влияющие на подвижность автомобилей скорой медицинской помощи в городской дорожно-транспортной среде;
2. Разработать математические модели построения скоростной характеристики однотрубного амортизатора и расчета его основных конструктивных параметров;
3. Провести сравнительную оценку скоростных характеристик натуральных образцов двухтрубного гидравлического и однотрубного гидропневматического амортизаторов для автомобилей категории М1 и N1;

4. Уточнить математические модели определения предельных вертикальных ускорений при переезде дорожных неровностей различного профиля;

5. Провести натурный эксперимент по сравнительной оценке эффективности гашения колебаний кузова автосанитарной машины на искусственных дорожных неровностях различного профиля при использовании подвесок с различными типами демпфирующих элементов;

6. Разработать методику оценки негативного воздействия городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта;

7. Предложить конструктивные рекомендации по повышению плавности хода и снижению крена салона автосанитарного автомобиля путем эксплуатационной модернизации подвески.

**Объектом исследования** являются автосанитарные транспортные средства на базе шасси категорий М1 и N1.

**Предметом исследования** является колебательный процесс кузова автосанитарного транспортного средства с разными типами подвесок при преодолении типовых препятствий городской дорожной среды.

**Методология и методы исследования.** Методологической базой диссертационного исследования являются основные положения теории движения и колебаний колесных машин, методы экспертной оценки и априорного ранжирования, математические методы моделирования физических процессов, экспериментальные исследования и математические методы статистической обработки их результатов.

**На защиту выносятся следующие положения:**

1. Методика и результаты обоснования конструктивно-эксплуатационных факторов, имеющих значимое влияние на подвижность автосанитарных средств в городской среде;

2. Математическая модель построения скоростной характеристики гидропневматического амортизатора и методика расчета его основных параметров;

3. Закономерности изменения вертикальных ускорений салона санитарного автомобиля от скорости преодоления единичных дорожных неровностей при различных типах подвески;

4. Закономерности изменения продольных и поперечных ускорений крена салона санитарного автомобиля от скорости движения при повороте и торможении при различных типах подвески;

5. Методика оценки негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта.

**Научной новизной в исследовании обладают:**

1. Результаты экспертной оценки значимости факторов, ограничивающих подвижность автомобилей скорой медицинской помощи в городской дорожно-транспортной среде;

2. Математические модели построения скоростной характеристики и определения конструктивных параметров однотрубных телескопических гидропневматических амортизаторов;

3. Закономерности изменения вертикальных ускорений салона санитарного автомобиля от скорости преодоления единичных дорожных неровностей при различных типах подвески;

4. Закономерности изменения продольных и поперечных ускорений крена салона санитарного автомобиля от скорости движения при повороте и торможении при различных типах подвески;

5. Методика оценки негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта;

6. Научно обоснованные рекомендации по повышению плавности хода и снижению крена салона автосанитарного автомобиля путем эксплуатационной модернизации подвески.

**Теоретическая значимость исследования.** В результате теоретических исследований разработаны математические модели построения скоростных характеристик и расчета основных параметров телескопических однотрубных гидропневматических амортизаторов. Уточнены математические модели определения предельных вертикальных ускорений при переезде искусственных дорожных неровностей различного профиля. Впервые выявлены закономерности изменения вертикальных ускорений салона санитарного автомобиля от скорости преодоления единичных дорожных неровностей и изменения продольных и поперечных ускорений крена салона от скорости движения при повороте и торможении при различных типах подвески. Разработана методика оценки негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта.

**Практическая значимость исследования** заключается в разработке математического аппарата для проектирования однотрубных гидропневматических амортизаторов и в его реализации в виде программы для ЭВМ, защищенной свидетельством о государственной регистрации. Разработаны научно-обоснованные конструктивные рекомендации по повышению плавности хода и снижению крена салона автосанитарного автомобиля путем эксплуатационной модернизации подвески.

Программный продукт реализуется в конструкторской деятельности Санкт-Петербургского машиностроительного амортизаторного предприятия ООО «ПЛАЗА» при проектировании новых изделий, а предложенные инженерные решения – при эксплуатационной модернизации парка автомобилей скорой помощи в ГУП «Медсантранс» (г.Санкт-Петербург).

**Достоверность и обоснованность** результатов диссертационного исследования обусловлена использованием теоретических основ снижения

негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автомобиля скорой помощи повышением плавности хода и устойчивости, а также натурных исследований, выводы которых подтверждаются результатами практических исследований.

**Апробация работы.** Материалы и результаты научного исследования доложены и одобрены на:

- 75-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета «Архитектура – строительство – транспорт» СПбГАСУ г.Санкт-Петербург (19–20 ноября 2019 года);

- Международной научно – практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы» Министерство науки и высшего образования Российской Федерации Российская академия наук (РАН). Отделение нанотехнологий и информационных технологий РАН. Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН. Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы. (Ноябрь 2019 года);

- 14-й международной конференции «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах», СПбГАСУ г.Санкт-Петербург (21–24 октября 2020 г.);

- 74-й научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» СПбГАСУ г.Санкт-Петербург (8-10 апреля 2021 года).

**Реализация результатов работы.** Результаты исследований внедрены:

- в ГУП «Медсантранс», г. Санкт-Петербург, в части выбора упругих и демпфирующих элементов подвесок при эксплуатационной модернизации машин штатного парка.

- в машиностроительном амортизаторном предприятии ООО «ПЛА-ЗА» в части использования методического аппарата расчета основных параметров однотрубного гидропневматического амортизатора при разработке конструкторской документации на новые образцы изделий.

- в учебном процессе СПбГАСУ по направлению в сфере наземных транспортно-технологических средств (23.05.01), прикладной механики (15.04.03) по дисциплине «Исследования и испытания ПТСДСиО», «Проектирование ПТСДСиО».

**Публикации.** Результаты исследования по теме диссертации опубликованы в 5 печатных работах, в числе которых 4 научных статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий ВАК, 1 статья в издании, входящем в международную реферативную базу данных и систем цитирования Scopus. По теме исследования получены 4 патента на полезные модели и 1 свидетельство о государственной регистрации на программу для ЭВМ.

**Личный вклад автора.** При проведении исследования автор лично:

- организовал проведение, обработал и проанализировал результаты экспертных исследований;
- разработал математическую модель скоростной характеристики амортизатора, на основе которой провел сравнительный анализ выходных параметров однотрубного и двухтрубного амортизаторов для автомобиля скорой медицинской помощи;
- разработал математическую модель расчета основных параметров однотрубного гидропневматического амортизатора и программу ее реализации на ЭВМ, защищенную свидетельством о государственной регистрации;
- уточнил математические модели расчета предельных вертикальных ускорений при переезде единичных дорожных неровностей различных профилей;
- спланировал, подготовил и провел экспериментальные исследования по сравнительной оценке отдельных параметров плавности хода автомобилей с тремя типами подвесок при переезде единичных дорожных неровностей различных профилей, а также при изменении траектории движения автомобиля скорой помощи и при его экстренном торможении;
- разработал методику оценки негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта.
- научно обосновал конструктивные рекомендации по повышению плавности хода и снижению крена салона автосанитарного автомобиля путем эксплуатационной модернизации подвески.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» п. п. 3 и 4:

3. Обоснование и разработка требований к рациональной структуре парка, эксплуатационным качествам транспортного, технологического, погрузочно-разгрузочного оборудования и методов их оценки.

4. Эксплуатационные требования к автомобилю, специальные перевозки и эксплуатационные требования к специальным автомобилям: пожарным, рефрижераторам, спортивным; эксплуатационные требования к прицепах и полуприцепах, специальным кузовам.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит 133 страниц текста, 53 формулы, 46 таблиц и 64 рисунка. Библиографический список включает 115 наименований.

*В введении* обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы её цели и задачи, представлена научная новизна полученных результатов, выносимых на защиту, а также апробация и практическая значимость работы.

*В первой главе* проведен анализ влияния подвижности автомобилей скорой помощи на эффективность использования «золотого часа» в условиях мегаполиса, на основе экспертного анализа определены значимые факторы, влияющие на подвижность санитарной машины, произведен обзор действующего автосанитарного парка ГУП «Медсантранс» г.Санкт-Петербург, произведен анализ исследований по вопросам теории колебаний и плавности хода автомобиля, а также влияния вибрации, поперечных и продольных кренов на состояние водителя и пассажиров, произведен обзор конструкции и характеристик современных автомобильных амортизаторов.

*Во второй главе* изложена методика расчета скоростной характеристики однотрубного амортизатора, разработана методика обоснования конструктивных параметров однотрубного гидропневматического амортизатора, произведена сравнительная оценка экспериментально полученных скоростных характеристик двухтрубного гидравлического и однотрубного гидропневматического амортизаторов с расчетной характеристикой, уточнена методика расчетного определения вертикальных ускорений пробоя подвески при переезде дорожных неровностей.

*В третьей главе* представлены методики и результаты сравнительной экспериментальной оценки эффективности гашения вертикальных, поперечно-угловых и продольно-угловых колебаний кузова автомобиля при его оснащении задней подвеской с различными вариантами упругих и демпфирующих элементов. Предложен метод бальной оценки комфортности преодоления искусственных дорожных неровностей, крутых поворотов и при экстренном торможении автосанитарных машин с различными вариантами исполнения подвесок. Дана обобщенная бальная оценка эффективности работы в этих условиях исследуемых амортизаторов на автомобилях Форд Транзит.

*В четвертой главе* представлены методика и результаты оценки негативного воздействия городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта по оценочным параметрам «средняя скорость» и «уровень негативного воздействия на пациента».

## **II. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**1. Методика и результаты обоснования конструктивно-эксплуатационных факторов, имеющих значимое влияние на подвижность автосанитарных средств в городской среде.**

Совокупную оценку эффективности решения задач по своевременной, комфортной и безопасной доставке пациента до медицинского учреждения

предлагается проводить по показателю подвижности транспортного средства. Она зависит как от конструктивных особенностей автомобиля, так и от состояния дорожно-транспортной среды на маршруте движения. В связи с этим для проведения оценки предложено рассмотреть три группы ограничивающих факторов: состояние транспортной среды, эксплуатационные свойства автомобиля и комфорт пассажиров. Каждая группа факторов представляет собой совокупность ограничений, снижающих среднюю скорость перемещения автосанитарной машины и (или) комфорт пассажиров. Указанные факторы были выбраны на основе обобщения опыта деятельности автосанитарных бригад медицинской скорой помощи и водителей ГУП «Медсантранс» в г. Санкт-Петербург. Сводный перечень проанализированных факторов приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Факторы ограничения подвижности автосанитарной машины

№ п/п	<b>Факторы дорожной среды</b>
1	Наличие дорожных «пробок» на маршруте
2	Повороты на перекрестках маршрута движения
3	Маневрирование во дворах на ограниченных пространствах
4	Светофорные объекты на маршруте движения
5	Нерегулируемые пешеходные переходы
<b>Конструктивные факторы</b>	
1	Тягово-скоростные свойства
2	Тормозные свойства
3	Управляемость
4	Устойчивость поперечная (стабилизация поперечного крена)
5	Устойчивость продольная (стабилизация продольного крена)
6	Маневренность
7	Геометрическая проходимость
8	Плавность хода
<b>Факторы дискомфорта</b>	
1	Продольный крен кузова при торможении и разгоне
2	Поперечный крен кузова при поворотах машины на перекрестках
3	Ударные импульсы при переезде искусственных дорожных неровностей
4	Тряска при движении по разбитой асфальтобетонной поверхности
5	Вертикальная раскачка автомобиля при езде по ухабистой поверхности
6	Вибрация кузова при езде по ровной поверхности с повышенной шероховатостью
7	Вибрация кузова при езде по неровной поверхности
8	Продольно-угловые колебания – галопирование

В качестве экспертов для оценки значимости факторов дорожной среды и конструктивных факторов были привлечены водители машин скорой помощи ГУП «Медсантранс» (г. Санкт-Петербург) с примерно одинаковым стажем работы – около 10 лет. Для оценки факторов дискомфорта транспортируемых пострадавших и сопровождающего медперсонала привлекались врачи и фельдшеры из состава бригад автомобильной скорой помощи.

Статистический анализ результатов экспертного опроса заключался в ранжировании факторов по их значимости и оценке степени согласованности мнений экспертов как по каждому из отдельных факторов, так и в целом по всему их набору. Оценка согласованности мнений экспертов  $W$  проводилась по значениям коэффициентов конкордации Кендалла, определяемых по формуле:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^2 - n)}, \quad (1)$$

где  $m$  – число экспертов,  $n$  – число факторов,  $S$  – сумма квадратов отклонений сумм рангов, полученных каждым экспертом ( $n$ ), от средней суммы рангов:

$$S = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2}m(n+1) \right\}^2, \quad (2)$$

где  $j$  – номер эксперта.

Полученное по первой группе факторов значение коэффициента конкордации Кендалла  $W_1$ , равное 0,60, показывает высокую согласованность мнений экспертов. Обработка результатов опроса по второй и третьей группам факторов, в которых коэффициенты конкордации составили соответственно  $W_2 = 0,389$  и  $W_3 = 0,34$ , показала средний уровень согласованности. Обобщенный коэффициент конкордации Кендалла по всем трем группам факторов составил  $W_{\text{общ}} = 0,44$ , что позволяет сделать вывод о средней степени согласованности оценок всех экспертных групп в части обоснованности выбора ограничивающих факторов автосанитарных машин в городской дорожной среде и о возможности использования рассчитанных коэффициентов весо-мости факторов при их ранжировании. По результатам ранжирования установлено, что наиболее значимыми факторами ограничения подвижности на маршруте являются: по дорожной среде - наличие дорожных «пробок», ограниченные пространства для маневрирования во дворах, значительное количество светофорных объектов; по конструктивным факторам – геометрическая проходимость, маневренность автомобиля, стабилизация поперечного и продольного кренов кузова; по факторам комфорта – продольно-угловые колебания – галопирование; толчковые импульсы и вибрация кузова при переезде неровностей и езде по поверхности повышенной шероховатости; продольный и поперечный крены кузова при торможении и поворотах соответственно.

Анализ результатов экспертных оценок показывает, что по согласованному мнению экспертов решающую роль в конструктивном ограничении подвижности санитарного автомобиля в городской среде играют не его тягово-динамические возможности, а факторы дискомфорта пострадавшего и экипажа, определяющиеся в основном плавностью хода и поперечной и продольной динамической устойчивостью к кренам поддрессоренной массы машины. Это обусловило необходимость рассмотрения вопроса повышения подвижности автосанитарных машин именно с этих позиций.

## 2. Математическая модель построения скоростной характеристики гидропневматического амортизатора и методика расчета его основных параметров.

Разработанная математическая модель позволяет по заданным значениям конструктивных параметров автотранспортного средства строить скоростную характеристику гидропневматического амортизатора с оптимальными значениями сопротивления на прямом (сжатие) и обратном (отбой) ходах. Математическое описание модели предполагает расчетное определение параметров, представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные параметры для построения скоростной характеристики амортизатора

№	Наименование параметра	Расчетная зависимость	Размерность
1	Приведенный коэффициент сопротивления, где $\psi$ – относительный коэффициент затухания колебаний; $c$ – жесткость подвески колеса, Н/м; $F$ – сила тяжести поддрессоренной массы автомобиля, приходящаяся на колеса, Н	$k_n = 2\Psi\sqrt{cF}$	Н·с/м
2	Сила тяжести поддрессоренной массы автомобиля, приходящаяся на колеса	$F = Mg$	Н
3	Коэффициент сопротивления амортизатора, где $k_t$ – коэффициент, учитывающий демпфирующее влияние трения в подвеске, его значения выбирались из рекомендуемых пределов 0,92...0,95; $u_a = b/a$ – соотношение перемещений колеса и штока амортизатора (передаточное отношение амортизатора)	$k = k_n k_t u_a^2$	Н·с/м
4	Коэффициент сопротивления амортизатора при отбое, где $j$ – коэффициент превышения, для транспортных средств общего назначения	$k_o = jk_c$	Н·с/м

Продолжение табл. 2

№	Наименование параметра	Расчетная зависимость	Размерность
4	$j = 1, 5 \dots 5$ (3...5 для передней подвески и 1, 5...4, 0 для задней); $k$ – коэффициент сопротивления при сжатии		
5	Обобщенный коэффициент сопротивления амортизатора при отбоя и сжатии	$k = \frac{(k_o + k_c)}{2}$	Н·с/м
6	Коэффициент сопротивления амортизатора при сжатии	$k_c = \frac{2k}{(j+1)}$	Н·с/м
7	Сила сопротивления амортизатора, где $V$ – скорость перемещения штока амортизатора	$F_c = A_c V^{1/2}, F_o = A_o V^{1/2}$	Н
8	Постоянная величина в уравнении ветви сжатия	$A_c = k_c (V_3^{1/2} + V_2^{1/2})$	Н
9	Постоянная величина в уравнении ветви отбоя	$A_o = k_o (V_3^{1/2} + V_2^{1/2})$	Н
10	Средняя скорость перемещения штока амортизатора, где $\omega = \Omega_o$ (частота собственных колебаний подрессоренной массы, с); $S$ – полный ход штока амортизатора, мм	$V_2 = 10^{-3} \pi S \omega_2$	м/с
11	Окончательные уравнения ветвей сжатия и отбоя характеристики сопротивления	$F_c = k_c (V_3^{1/2} + V_2^{1/2}) V^{1/2}$ $F_o = k_o (V_3^{1/2} + V_2^{1/2}) V^{1/2}$	Н
12	Жесткость подвески колеса, где $M$ – величина подрессоренной массы, приходящаяся на колесо, кг; $m$ – величина неподдресоренной массы, приходящаяся на колесо, кг	$c = 5,59 \cdot 10^{-6} \Omega_o \times (M-m)$	Н/м

Исходные данные для разработки математической модели построения скоростной характеристики амортизатора (параметры масс, жесткостные, кинематические и монтажные характеристики элементов подвески, радиальная жесткость шин) определяются экспериментально, применительно к конкретному образцу АТС (в данной работе – это Ford Transit). Необходимые значения параметров плавности хода принимаются в соответствии с требованиями нормативных документов или технических рекомендаций.

На основе использования предложенной модели построена расчетная скоростная характеристика сопротивления однотрубного амортизатора, обеспечивающая наиболее благоприятный режим его работы с позиции плавности хода (рис. 1а).

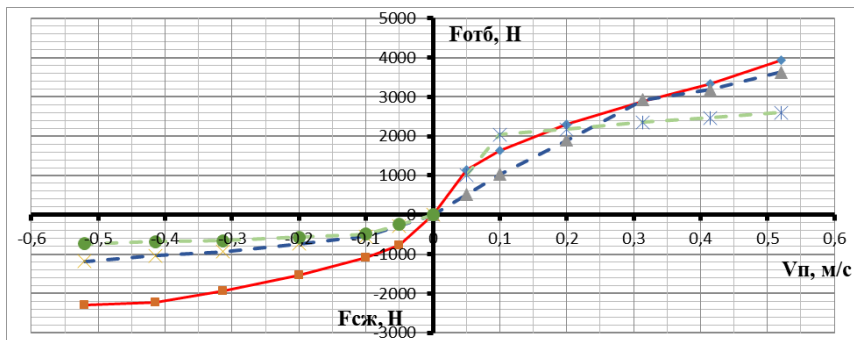


Рисунок 1 – Скоростные характеристики: а) ■■■ – расчетная гидропневматического амортизатора; б) ■■■ – экспериментальная гидропневматического амортизатора; в) ■■■ – экспериментальная гидравлического двухтрубного амортизатора

Полученная расчетная характеристика используется для определения конструктивных параметров амортизатора, которая включает в себя математический аппарат, позволяющий определить следующие параметры: условная длина заправочной полости, объем газовой заправочной полости, минимальная условная длина газовой полости, давление заправки газа, объем рабочей жидкости, масса рабочей жидкости, жесткость газа, минимальное и максимальное давление газа, максимальные гидравлические силы сопротивления при сжатии и отбое, максимальное давление в верхней и нижней полостях, коэффициент запаса устойчивости, критическая сила, расчетное напряжение стенки цилиндра по образующей от воздействия максимального давления, расчетное напряжение стенки цилиндра по сечению проточки под стопорное кольцо от воздействия максимальной силы сопротивления отбоя.

Для практического применения методики разработана программа расчета параметров однотрубного гидропневматического амортизатора на ЭВМ, защищенная свидетельством о государственной регистрации (Свидетельство рег. № 2020616785 от 22.06.2020 – Расчет скоростной характеристики и параметров амортизатора).

Для оценки корректности методики по результатам расчетов был изготовлен комплект опытных гидропневматических однотрубных амортизаторов для автосанитарной машины Ford Transit (рисунок 2а) и проведено экспериментальное снятие их рабочих характеристик в сравнении со штатным двухтрубным амортизатором на специальном стенде (рисунок 2б).

Сопоставление расчетной характеристики (рисунок 1а) с экспериментальной опытного образца (рисунок 1б) показывает, что скоростная характеристика разработанного гидропневматического амортизатора имеет

практически на всех участках линейную зависимость, что обуславливается своевременным постепенным открытием дисковых разгрузочных клапанов. Силы сопротивления на всех режимах не выходят за пределы расчетного, что свидетельствует о высокой жесткости гидропневматических амортизаторов, позволяющих уменьшить крен кузова, а также уменьшить вероятность возникновения кавитации в рабочей жидкости и связанных с этим пробоев.

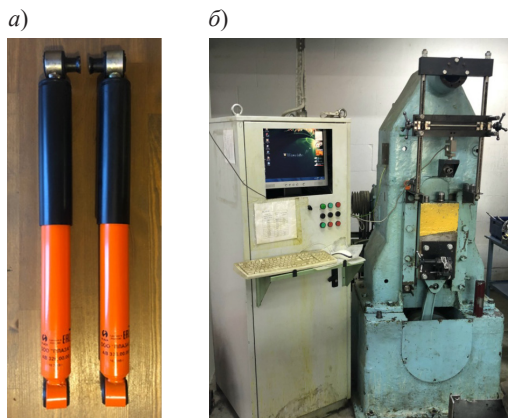


Рисунок 2 – Опытные образцы гидропневматических амортизаторы (а) и стенд для снятия их скоростных характеристик (б)

Сопоставление скоростной характеристики штатного двухтрубного гидравлического амортизатора автомобиля Ford Transit (рисунок 1в) с расчетной и экспериментальной характеристиками однотрубного гидропневматического амортизатора показывает, что штатные гидравлические амортизаторы недостаточно эффективно справляются с задачами демпфирования вертикальных, поперечно угловых и продольно-угловых колебаний кузова, что негативно отражается на самочувствии перевозимого больного пациента, приводит к необходимости снижения скорости автомобиля при преодолении неровностей дороги, способствует повышенной утомляемости водителя и медицинского персонала. Как следует из графиков рисунка 1, отмеченные недостатки в значительно меньшей степени проявляются у однотрубных гидропневматических амортизаторов.

### **3. Закономерности изменения вертикальных ускорений салона санитарного автомобиля от скорости преодоления единичных дорожных неровностей при различных типах подвески.**

Определение негативного воздействия на пациента и экипаж вертикальных ускорений, возникающих при переезде искусственных дорожных неровностей и препятствий в зависимости от скорости движения машины,

проводилось на основании результатов дорожных экспериментов. В процессе эксперимента регистрировались линейные ускорения в геометрическом центре закрепленных носилок для пациента в трех плоскостях – вертикальной, поперечной и продольной, а также время проезда через неровность. Регистрация и обработка экспериментальных данных осуществлялась информационно-измерительным комплексом, состоящим из датчика ускорения AP2038P-100 и анализатора AP6300. Образец записи информации показан на рисунке 3.

Результаты экспериментальных исследований при различных вариантах конструктивного исполнения подвески представлены в таблице 5. Их анализ показывает, что экспериментальные значения максимальных ускорений близки к предельным расчетным только в случае взаимодействия колеса с препятствием циркульного профиля на минимальной скорости в 10 км/ч. Это обусловлено плавным безударным преодолением препятствия, когда демпфирующие элементы подвески практически не включаются в работу, и реакции подрессоренного корпуса и неподрессоренных частей машины на возмущающий импульс идентичны. Во всех прочих случаях максимально возможные ускорения при жестком ударе многократно превышают эксплуатационные.

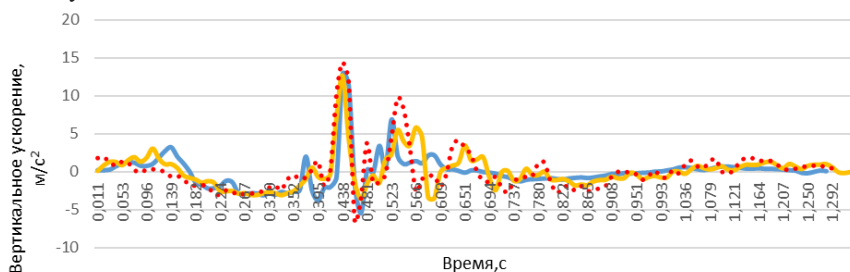


Рисунок 3 – Показания вертикальных ускорений при переезде циркульной неровности на скорости 20 км/ч: ■ – гидравлический амортизатор; ■ – гидропневматический амортизатор; ■ – пневматическая подвеска

Для оценки эффективности гашения демпфирующими устройствами подвески АТС импульсов вертикальных колебаний при переезде дорожных неровностей необходимо обладать информацией о потенциальных предельных их значениях. Для ее получения в ходе теоретических исследований уточнены математические модели процессов взаимодействия колеса с типовыми искусственными неровностями различного профиля и рассчитаны максимальные ускорения, воздействующие на пациента и экипаж при их преодолении. На рисунке 4 представлены расчетные зависимости при переезде колесом различных типов неровностей с применением формул таблицы 3.

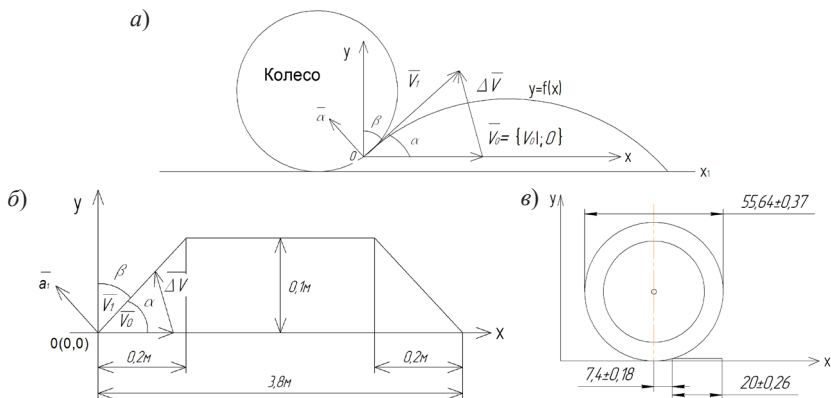


Рисунок 4 – Расчетные зависимости при переезде колесом неровностей:  
 а) с циркульной дорожной неровностью; б) приподнятый пешеходный переход; в) шумовая полоса

Таблица 3 – Расчетные параметры для построения вертикальных ускорений

№ п/п	Величина	Формула	Размерность
1	Длина участка	$\Delta S = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$	м
2	Время прохождения маршрута	$\Delta t = \frac{\Delta S}{ \vec{V}_0 }$	с
3	Направляющий косинус касательного вектора (вектора скорости $V_1, V_2, \dots$ )	$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + [f'(x)]^2}}$	град
4	Направляющий косинус касательного вектора (вектора скорости $V_1, V_2, \dots$ )	$\cos \beta = \frac{f'(x)}{\sqrt{1 + [f'(x)]^2}}$	град
5	Угол между касательным вектором и осью OY	$\beta = \frac{\pi}{2} - \alpha$	град
6	Изменение скорости автомобиля на отрезке $[x_1, x_2]$	$\Delta \vec{V} = \vec{V}_1 - \vec{V}_0 = \left\{ \begin{array}{l}  \vec{V}_0  \sqrt{1 + [f'(x)]^2} -  \vec{V}_0 ; \\  \vec{V}_0  f'(x) \end{array} \right\}$	м/с

Окончание табл. 3

№ п/п	Величина	Формула	Размерность
7	Ускорение на участке $[x_1, x_2]$	$ \bar{a}  = \frac{ \Delta V }{\Delta t} = \frac{\sqrt{p^2 + g^2}  \bar{v}_0 }{\Delta S} =$ $= \frac{\sqrt{\frac{ \bar{v}_0 }{\sqrt{1 + [f'(x)]^2}} -  \bar{v}_0  + \frac{ \bar{v}_0  f'(x)}{\sqrt{1 + [f'(x)]^2}}  \bar{v}_0 }}{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}}$	м/с <sup>2</sup>

Важно отметить, что при этом демпфирующие свойства элементов подвески и шины колеса не учитываются, т. е. рассматривается процесс качения абсолютно жесткого не подрессоренного колеса. Поэтому результаты расчета отражают максимально возможное вертикальное ускорение на различных участках неровности при различной скорости ее переезда.

По уточненной методике были проведены расчеты максимально возможных значений вертикальных ускорений при преодолении автомобилем на различных скоростях искусственных дорожных неровностей циркульного и трапецидального профиля, а также шумовой полосы (таблица 4).

Таблица 4 – Расчетные и экспериментальные значения максимальных вертикальных ускорений на искусственных дорожных неровностях различного типа

№ п/п	Тип искусственной дорожной неровности	Скорость переезда, км/ч	Расчетные максимальные значения, м/с <sup>2</sup>	Экспериментальные максимальные значения, м/с <sup>2</sup> (g=9,81 м/с <sup>2</sup> )		
				ГА*)	ГПА	ПП
1	2	3	4	5	6	7
1	Циркулярный профиль («лежачий полицейский»)	10	10 (1g)	7,76 (0,79g)	9,09 (0,93g)	8,35 (0,85g)
		15	14,8 (1,5g)	10,54 (1,07g)	10,8 (1,10g)	9,60 (0,98g)
		20	19,8 (2g)	14,45 (1,47g)	12,84 (1,31g)	12,58 (1,28g)
2	Трапецидальный профиль (искусственный пешеходный переход)	10	31,9 (3,3g)	14,5 (1,48g)	9,5 (0,97g)	26,31 (2,68g)
		20	175,4 (17,9g)	34,2 (3,49g)	34,9 (3,56g)	27,4 (2,79g)

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
3	Шумовая полоса	30	63,2 (6,4g)	19,5 (1,99g)	7,1 (0,72g)	6,2 (0,63g)
		50	112,3 (11,4g)	26,1 (2,66g)	9,9 (1,01g)	6,7 (0,68g)
		60	175,4 (17,9g)	34,9 (3,56g)	9,0 (0,92g)	7,5 (0,76g)

\*) ГА – гидравлический амортизатор, ГПА – гидропневматический амортизатор, ПП – пневматическая подвеска.

Включение упругих и демпфирующих элементов подвески в процесс гашения импульса снижает интенсивность жесткого удара при преодолении циркульной неровности в 1,5...1,6 раза, трапециидальной – в 3,4...6,4 раза, препятствий шумовой полосы прямоугольного профиля – в 10...23 раза в зависимости от типа подвески и скорости преодоления препятствия.

Закономерности изменения вертикальных ускорений салона санитарного автомобиля от скорости преодоления единичных дорожных неровностей при различных типах подвески представлены на рисунке 5. Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

- при переезде ИДН на скорости 10 км/ч наиболее эффективно с точки зрения гашения вертикальных колебаний справляется штатный гидравлический амортизатор (разница с ГПА и ПП 17,13 % и 7,6 % по вертикальным ускорениям соответственно), для гидропневматического амортизатора, а также пневматической подвески – 20 км/ч (разница с ГА 12,53 % и 14,86 % соответственно);

- при переезде искусственного пешеходного перехода на скорости 10 км/ч наиболее эффективно с точки зрения гашения вертикальный колебаний справляется ГП амортизатор (на 52,63% эффективнее ГА и на 176 % ПП). При этом на скорости 20 км/ч наиболее эффективным является ПП (на 24,81 % эффективнее ГА и на 27,37 % ГП).

- при переезде стыков разводного моста наиболее эффективным является ГП амортизатор (113,84%-142,53% эффективнее ГА и на 101,19%-151,23% ПП в зависимости от скорости);

- при переезде шумовых полос наиболее эффективным является ПП (213,2 % – 368,34 эффективнее ГА и на 14 % – 48,2 % ГП в зависимости от скорости).

Как видно из рисунка 6, фактические значения ускорений во всех случаях выходят за границу травмобезопасной для человека зоны (свыше 4,5 м/с<sup>2</sup>), а именно: (ГА – 221 % – 971 %; ГП – 57 % – 861 % и ПП – 38 % – 831 % в зависимости от типа неровности и скорости переезда).

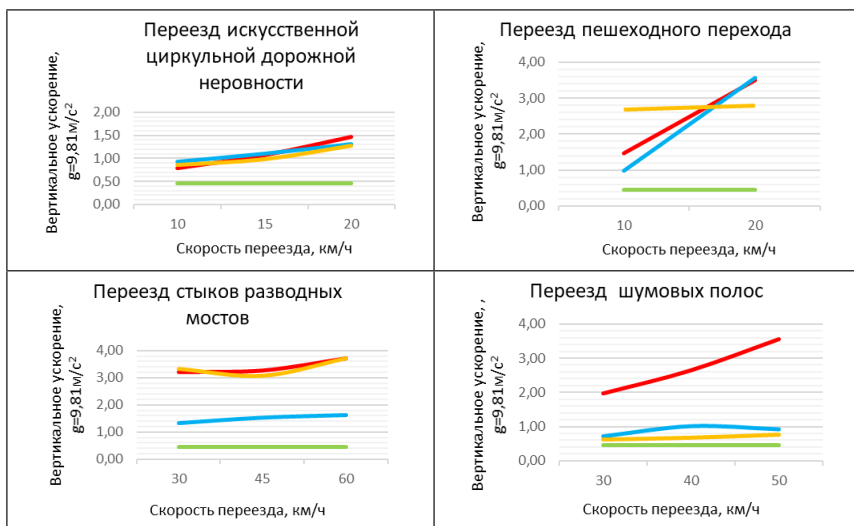


Рисунок 5 – Значения максимальных экспериментальных ускорений при переезде дорожных неровностей: — гидравлический двухтрубный амортизатор; — гидропневматический однострубный амортизатор; — пневматическая подвеска; — травмоопасная зона

Предложенный метод бальной оценки на основе ранжирования максимальных показателей (наилучшему из показателей по каждому виду препятствий назначалось максимальное количество баллов) показал, что применение пневматической подвески или гидропневматических амортизаторов обеспечивает примерно на 60% более эффективное гашение вертикальных колебаний при преодолении искусственных дорожных неровностей по сравнению со штатными двухтрубными амортизаторами: штатный амортизатор – 15,5 баллов; гидропневматический – 24,5 баллов; пневматическая подвеска – 26 баллов.

#### 4. Закономерности изменения продольных и поперечных угловых ускорений крена салона санитарного автомобиля от скорости движения при повороте и торможении при различных типах подвески.

Анализ результатов экспериментальных исследований поперечных ускорений при повороте машины на 90 градусов с радиусом в 15 метров и продольных угловых ускорений при экстренном торможении (пример записи показаний представлен на рисунке 6, результаты – на рисунках 7 и 8) показал, что штатные двухтрубные гидравлические амортизаторы по минимизации неприятных ощущений у транспортируемого лежачего пациента уступают однострубным гидропневматическим как на всех скоростях прохождения поворота на 90 градусов, так и при интенсивном аварийном торможении. При

этом пневматическая подвеска по величине и интенсивности кренов кузова показала наихудшие результаты.

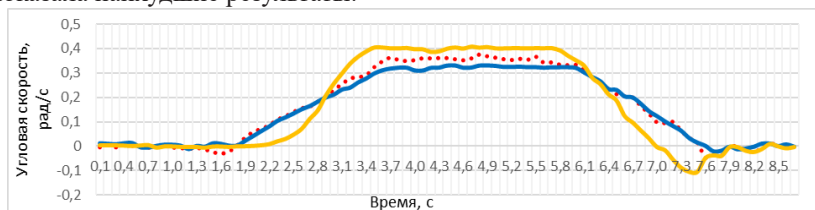


Рисунок 6 – Показания поперечных угловых скоростей при повороте на скорости 20 км/ч: ■■■ – гидравлический амортизатор; — — гидропневматический амортизатор; — — пневматическая подвеска

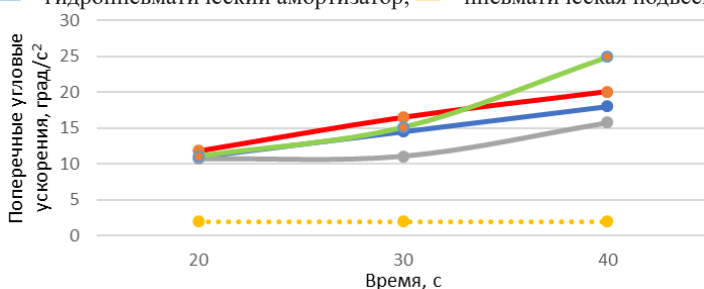


Рисунок 7 – Максимальные поперечные угловые ускорения при повороте на 90 градусов при радиусе 15 метров: — порог раздражения; — гидравлический амортизатор (салон штатного исполнения); — гидравлический (салон увеличенного объема); — гидропневматический (салон штатного исполнения); — пневматическая подвеска (салон штатного исполнения)

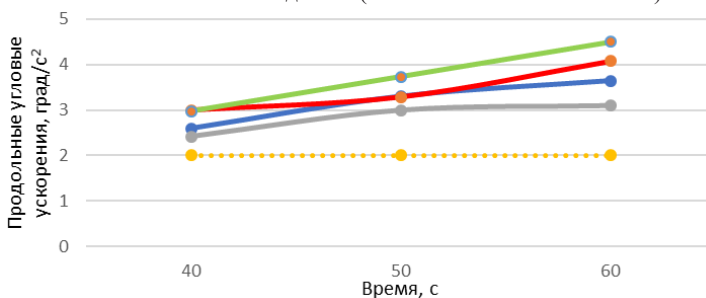


Рисунок 8 – Максимальные продольные угловые ускорения при торможении: — порог раздражения; — гидравлический амортизатор (салон штатного исполнения); — гидравлический (салон увеличенного объема); — гидропневматический (салон штатного исполнения); — пневматическая подвеска (салон штатного исполнения)

Бальная оценка эффективности работы подвески по снижению поперечно- и продольно-угловых ускорений при крутых поворотах и интенсивных торможениях, проведенная по аналогии с оценкой гашения вертикальных ускорений, показала, что применение гидропневматических амортизаторов является наиболее эффективным: пневматическая подвеска – 8 баллов, гидравлический амортизатор – 13 баллов, гидропневматический – 15 баллов. При этом фактические значения угловых ускорений также находятся за границей травмобезопасной для человека зоны.

5. Методика оценки негативного воздействия элементов городской дорожной среды на подвижность автосанитарного транспорта.

Методика предполагает проведение дорожных испытаний на типовом маршруте транспортирования пациента. В качестве критериев оценки используются средняя скорость перемещения по заданному маршруту и уровень негативных воздействий дорожной среды на пациента при его транспортировании.

**Испытания по оценочному параметру «средняя скорость»** проводились при движении автомобиля по реальному городскому маршруту в Санкт-Петербурге от начальной точки (Введенская ул., д. 16) до конечной точки СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница» (Литейный пр., 56, г. Санкт-Петербург, 191014). Маршрут протяженностью 5,8 км включал в себя: 13 поворотов различного радиуса, 9 из которых под углом 90 градусов; 4 искусственные дорожные неровности - «лежачие полицейские»; 3 искусственные неровности в виде пешеходных переходов; 12 регулируемых перекрестков; 11 нерегулируемых перекрестков; 12 нерегулируемых пешеходных переходов; один разводной мост. Уровень транспортной загрузки города на момент испытаний – 5 баллов. Данные с анализатора AP6300 передавались в режиме реального времени на ПК с последующей записью сигналов.

Согласно результатам экспериментального исследования средняя скорость движения по маршруту составила: для а/м со штатными двухтрубными амортизаторами – 17,1 км/ч; для а/м с гидропневматическими амортизаторами – 18,15 км/ч; для а/м с пневматической подвеской – 17,65 км/ч. Результаты эксперимента показывают, что средние скорости движения у автомобилей со всеми типами подвесок отличаются не более, чем на 6 %, что соответствует разнице во времени доставки пациента примерно в одну минуту в пользу автомобиля, оснащенного гидропневматическими амортизаторами. Это незначительная разность объясняется краткосрочностью движения непосредственно по препятствиям, при котором преимущества в максимальной возможной скорости их преодоления не реализуются. Несомненно, в экстренных случаях и эта незначительная разница может оказаться критичной, однако на фоне решения службой скорой помощи большинства традиционных задач она не представляется значимой. Очевидно, что более важным

оценочным критерием в этом случае является уровень негативного воздействия на пациента элементов дорожной среды, преодолеваемых на маршруте.

**Испытания по оценочному параметру «уровень негативного воздействия на пациента».** При выполнении комплексной интегральной оценки негативного импульсного воздействия на пациента вертикальных и угловых ускорений за период его транспортировки использовался маршрут со следующими характеристиками: количество дорожных неровностей-искусственных дорожные неровности «лежачие полицейские» – 4 шт, искусственные пешеходные переходы – 3 шт, стыки разводного Троицкого моста – 8 шт; количество поворотов в 90 градусов – 9 шт; количество торможений до полной остановки – 9 шт;

Коэффициент весомости каждого дорожного элемента на маршруте определяется, как отношение количества дорожных элементов определенного типа к их общему числу на маршруте. Для оценки уровня превышения полученных в ходе проведения эксперимента ускорений над их допустимыми значениями (для вертикальных ускорений –  $4,5 \text{ м/с}^2$ , для угловых –  $2 \text{ град/с}^2$ ), использовался коэффициент превышения, который предложено определять как отношение фактического значения к пороговому. Интегральный показатель уровня негативного воздействия на пациента определяется из следующего выражения:

$$K_{\text{интегр}} = k_v \sum \Delta_{vi} q_{vi} + k_y \sum \Delta_{yi} q_{yi}, \quad (3)$$

где  $k_v$  и  $k_y$  – коэффициенты весомости негативного воздействия на пациента вертикальных и угловых ускорений соответственно;  $\sum \Delta_{vi} q_{vi}$ ,  $\sum \Delta_{yi} q_{yi}$  – обобщенные показатели превышения пороговых значений вертикальных и угловых ускорений соответственно;

При этом следует учитывать, что чем ниже интегральный показатель  $K_{\text{интегр}}$ , тем выше эффективность работы подвески.

Назначение  $k_v$  и  $k_y$  производится на основе определения соотношений средних значений коэффициентов превышения по вертикальным  $\Delta_{срв}$  и угловым  $\Delta_{сру}$  ускорениям, определяемым по следующим выражениям:

$$\Delta_{срв} = \frac{\sum_1^n \Delta v_i}{n}, \quad \Delta_{сру} = \frac{\sum_1^m \Delta y_i}{m}, \quad (4)$$

где  $n$  и  $m$  – суммарное количество превышений предельных значений соответственно вертикальных и угловых ускорений при всех заездах со всеми вариантами компоновки подвесок.

Результаты расчета обобщенных показателей и средних значений превышения порогового значения вертикального ускорения  $\Delta_{срв}$  и углового ускорения  $\Delta_{сру}$  представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 5 – Обобщенный показатель и среднее превышение порогового значения вертикального ускорения  $\Delta_{срв}$  на маршруте

Показатель	Скорость min			Скорость max		
	Компоновка подвески			Компоновка подвески		
	Гидравлическая	Гидропневматическая	Пневматическая	Гидравлическая	Гидропневматическая	Пневматическая
Превышение $\Delta_{vi}$ на ЛП	1,72	2,02	1,86	3,21	2,85	2,80
Превышение $\Delta_{vi}$ на ИПП	3,21	2,12	5,85	7,63	7,76	6,09
Превышение $\Delta_{vi}$ на стыках	7,01	2,89	7,26	8,13	3,55	8,08
Обобщенный показатель $\sum \Delta_{vi} q_{vi}$	4,84	2,50	5,54	6,72	4,21	6,27
$\Delta_{срв}$	4,67					

Таблица 6 – Обобщенный показатель и среднее превышение порогового значения углового ускорения  $\Delta_{сру}$  на маршруте

Показатель	Скорость min			Скорость max		
	Компоновка подвески			Компоновка подвески		
	Гидравлическая	Гидропневматическая	Пневматическая	Гидравлическая	Гидропневматическая	Пневматическая
Превышение $\Delta_{yi}$ на повор.	5,47	5,35	5,54	9,02	7,88	12,48
Превышение $\Delta_{yi}$ при торм.	1,30	1,21	1,49	1,82	1,55	2,25
Обобщенный показатель $\sum \Delta_{yi} q_{yi}$	3,38	3,28	3,51	5,42	4,72	7,36
$\Delta_{сру}$	4,61					

Интегральные показатели эффективности различных компоновок подвески при движении на разных скоростях по заданному маршруту представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Интегральные показатели уровня негативных воздействий дорожной среды на пациента при его транспортировании.

Показатель	Скорость min			Скорость max		
	Компоновка подвески			Компоновка подвески		
	Гидравлическая	Гидропневматическая	Пневматическая	Гидравлическая	Гидропневматическая	Пневматическая
$K_{интегр.i}$	4,12	2,89	4,53	6,07	4,46	6,81

Результаты расчета интегральных показателей показывают, что наиболее эффективно снижает негативное воздействие дорожной среды на транспортируемого пациента подвеска с гидропневматическими амортизаторами. При их использовании эффективность по сравнению со штатной подвеской с гидравлическими амортизаторами повышается на 30 %, а в сравнении с пневматической подвеской – на 36 %.

### **III. ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

По итогам диссертационного исследования получены следующие выводы и результаты:

1. Проведенный анализ экспертной оценки значимости факторов, ограничивающих подвижность автосанитарных машин, показал, что решающую роль играют медико-биологические факторы дискомфорта транспортируемого пострадавшего и экипажа, определяющиеся в основном плавностью хода, а также поперечной и продольной динамической устойчивостью к кренам поддрессоренной массы автомобиля.

2. Основными элементами городской дорожной среды, вызывающими дискомфорт перевозимых больных и медперсонала, являются имеющиеся на проезжей части искусственные препятствия в виде циркульных и трапециевидных неровностей, шумовых полос, стыков разводных мостов и т. п. Помимо тряски и толковых импульсов дискомфорт вызывает поперечные и продольные крены кузова при частых крутых поворотах на перекрестках и интенсивных разгонах и торможениях на прямолинейных участках улиц.

3. Разработанные математические модели построения рациональной скоростной характеристики и определения конструктивных параметров однотрубных телескопических гидропневматических амортизаторов, а также программа их расчета на ЭВМ, защищенная свидетельством о государственной регистрации, позволяют автоматизировать проектирование, что подтверждено на примере создания опытных образцов для задней подвески автомобиля скорой медицинской помощи Ford Transit.

4. Сравнительная оценка экспериментально полученных скоростных характеристик двухтрубного гидравлического и однотрубного гидропневматического амортизаторов с расчетной характеристикой показала лучшее соответствие ей характеристики гидропневматического амортизатора, что свидетельствует о более высокой потенциальной эффективности гашения им вертикальных, поперечно-угловых и продольно-угловых колебаний кузова автомобиля.

5. Уточненная математическая модель определения предельных вертикальных ускорений при переезде дорожных неровностей позволяет определять значения ускорений пробоя подвески для неровностей различного профиля.

6. Экспериментальные исследования вертикальных колебаний кузова показали, что на всех исследованных режимах движения у всех вариантов подвески имеет место выход фактических значений пиковых ускорений за пределы рекомендуемой зоны комфорта человека. При этом наиболее эффективно их негативное влияние на пациента и экипаж снижается при использовании в подвеске однотрубных гидропневматических амортизаторов. Особенно ярко это преимущество проявляется при переезде шумовых полос на скорости около 50 км/ч, обеспечивая снижение максимальных вертикальных ускорений на месте расположения пациента в 4 раза по сравнению со штатными двухтрубными гидравлическими амортизаторами и при переезде стыков разводных мостов на скорости 30 км/ч – снижение в 2,4 раза.

7. Исследование поперечных и продольных угловых ускорений показало, что все полученные в ходе проведения эксперимента значения эксплуатационных поперечных и продольных угловых ускорений превышают нормативное пороговое значение раздражения человека. Однако более высокую эффективность их снижения дает использование гидропневматических амортизаторов – на 10... 30 % по сравнению с машиной штатного исполнения на всех скоростных режимах движения.

8. Натурное исследование подвижности автосанитарной машины на типовом городском маршруте доставки пациента показало, что все исследованные варианты подвески обеспечивают примерно одинаковую среднюю скорость перемещения АТС и не оказывают существенного влияния на время его преодоления. Это свидетельствует о несостоятельности оценки подвижности таких машин по критерию средней скорости перемещения и о целесообразности применения в качестве критерия уровня негативных воздействий дорожной среды на пациента при его транспортировании.

9. Методика интегральной оценки уровня негативных воздействий дорожной среды на пациента при его транспортировании, основанная на расчетно-экспериментальных данных, показала, что из различных исследованных вариантов конструкции подвески наилучшим гашением импульсов вертикальных и продольно-поперечных ускорений обладает подвеска, оснащенная однотрубными гидропневматическими амортизаторами, позволяющая снизить уровень превышения порогового значения этих ускорений на 28% относительно штатной подвески с двухтрубными гидравлическими амортизаторами.

10. Полученные результаты подтвердили состоятельность гипотезы о целесообразности применения в целях повышения комфорта доставки пациента в условиях городской среды автомобилями скорой медицинской помощи на базе шасси категории М1 и N1 с подвеской, оснащенной однотрубными гидропневматическими амортизаторами.

#### **IV. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ**

##### **Публикации в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов ВАК РФ**

1. Войтко А. М. Влияние подвижности автосанитарных транспортных средств на эффективность использования «золотого часа» в условиях мегаполиса / В. Н. Добромиров, А. М. Войтко // Вестник гражданских инженеров. – 2019. – № 6 (77). – С. 290–299 (1 п. л./ 0,5 п. л.).

2. Войтко А.М. Методика расчета скоростной характеристики однотрубного амортизатора / А. М. Войтко // Вестник гражданских инженеров – 2020. – № 2 (79). – С.168–173 (0,6 п. л.).

3. Войтко А. М. Методика обоснования конструктивных параметров однотрубного гидропневматического амортизатора / А. М. Войтко // Вестник гражданских инженеров – 2020. – № 4 (81). – С. 166–174 (0,9 п. л.).

4. Войтко А.М. Влияние типа амортизатора на устойчивость автосанитарной машины к крену ее подрессоренной массы / В. Н. Добромиров, А. М. Войтко // Вестник гражданских инженеров. – 2021. – № 1 (84). – С. 133–139 (0,8 п. л./ 0,4 п.л.).

##### **В изданиях, индексируемые в Scopus и Web Science:**

5. A.M. Voitko. Improving safety of using ambulance vehicles in large cities / A. M. Voitko, V. N. Dobromirov, N. V. Podoprigora, A. V. Marusin // Transportation Research Procedia 50 (2020). – P. 716–726 (0,6 п. л./ 0,3 п. л.).

##### **Патенты на полезные модели:**

6. Войтко А.М. Автомобильный амортизатор с функцией гидроцилиндра: пат.№180691 РФ: заявл. 19.09.2017; опубл. 21.06.2018 / Добромиров В. Н., Репин С. В., Войтко А. М.

7. Войтко А.М. Устройство для предотвращения опрокидывания транспортного средства: пат. № 178614 РФ: заявл. 12.09.2017; опубл. 13.04.2018 / Репин С. В., Евтюков С. А., Добромиров В. Н., Войтко А. М.

8. Войтко А.М. Антиопрокидывающее устройство транспортного средства: пат. №178191 РФ: заявл. 12.09.2017; опубл. 26.03.2018 / Репин С. В., Евтюков С. А., Войтко А. М.

9. Войтко А.М. Устройство для предотвращения опрокидывания транспортного средства: пат. № 178313 РФ: заявл. 10.10.2017; опубл. 29.03.2018 / Репин С. В., Евтюков С. А., Войтко А. М.

##### **Базы данных и программы для ЭВМ, имеющих регистрацию**

10. Войтко А.М. Расчет скоростной характеристики и параметров амортизатора: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020616785: дата гос.рег. 22.06.2020. / Войтко А. М., Репин С. В.

Компьютерная верстка В. С. Весниной

Подписано к печати 09.09.2021. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ 76.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.